



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
12.02.2014 Patentblatt 2014/07

(51) Int Cl.:
G01M 5/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13002859.0**

(22) Anmeldetag: **04.06.2013**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **Kostka, Pawel**
01307 Dresden (DE)
• **Holeczek, Klaudiusz**
01067 Dresden (DE)
• **Hufenbach, Werner**
01324 Dresden (DE)
• **Langkamp, Albert**
01324 Dresden (DE)

(30) Priorität: **13.06.2012 DE 102012011927**

(71) Anmelder: **Technische Universität Dresden**
01069 Dresden (DE)

(54) **Verfahren zur Identifikation lokaler Werkstoffdämpfung in Verbund-Strukturen**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Identifikation lokal verteilter Werkstoffdämpfung in Verbund-Strukturen, wie es beispielsweise bei der Inspektion, Wartung oder Instandhaltung von Leichtbau-Komponenten, die Werkstoffe mit hohen mechanischen Anforderungen aufweisen, wie der Außenhaut von Flugkörpern, eingesetzt werden kann.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Messung lokaler Werkstoffdämpfung so weiter zu bilden,

dass eine Bestimmung der lokalen Werkstoffdämpfung ermittelt werden kann, die mit geringem Zeitaufwand und unter nicht-invasiven Bedingungen nutzbar ist.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Messung lokaler Werkstoffdämpfung, bei dem mindestens eine Schwingung in einer Leichtbaukomponente erzeugt, gemessen und eine Dämpfung im zu prüfenden Werkstoff mit Orts- und Richtungsauflösung bestimmt wird.

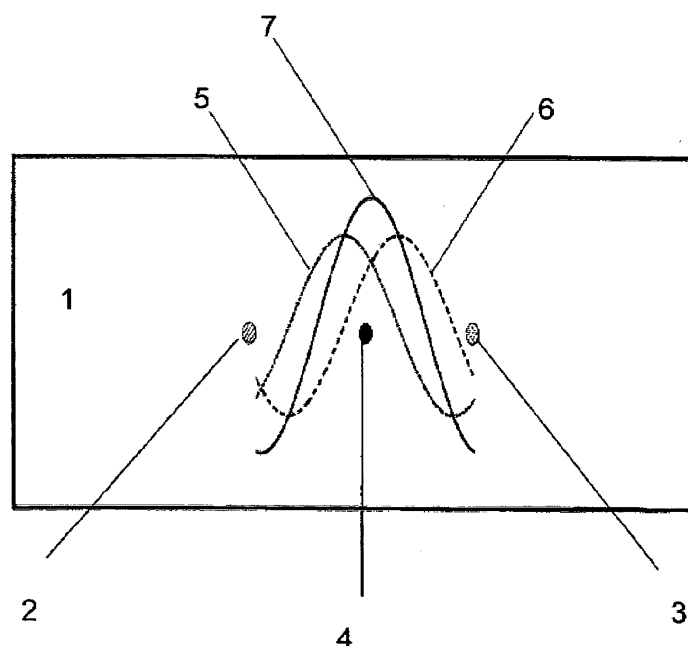


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Identifikation lokal verteilter Werkstoffdämpfung in Verbundstrukturen, die insbesondere bei der Inspektion, Wartung oder Instandhaltung von Leichtbau-Komponenten, die Werkstoffe mit hohen mechanischen Anforderungen aufweisen, wie beispielsweise der Außenhaut von Flugkörpern, eingesetzt werden kann.

[0002] Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Verfahren zur experimentellen Bestimmung inhomogen verteilter Werkstoffdämpfung. Speziell bei Verbundwerkstoffen, die in der Regel aus einem viskoelastischen Matrixmaterial und darin eingebetteten Fasern, wie beispielsweise Kohlenstofffasern oder Glasfasern bestehen, gibt es vielfältige Mechanismen und Verfahren zur Bestimmung der Werkstoffdämpfung.

[0003] Unter Werkstoffdämpfung wird die durch örtlich und zeitlich bewirkte Energiedissipation im viskoelastischen Matrixmaterial, im elastischen Fasermaterial und an den Materialgrenzen und Übergängen, die wiederum durch fertigungstechnische Besonderheiten wie Fehlstellen, Einschlüsse, Beugung und Schlichte gekennzeichnet sind. Darüber hinaus kommt es infolge der Bauteilbeanspruchung im Regelbetrieb und besonders bei lokalen Schadensereignissen, wie beispielsweise Stoßereignissen ohne Totalschaden, zu einer Veränderung der lokalen Werkstoffdämpfung.

[0004] Bei Werkstoffen, die hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind, werden diagnostische Systeme angewendet, die basierend auf zustandsensitive messbare Größen die Schädigung ermitteln,

[0005] Die Zuverlässigkeit der getroffenen Diagnose hängt stark mit der richtigen Auswahl schadigungsabhängiger Eingangsgrößen zusammen. Als eine dieser zustands sensitiven Größen ist die Bestimmung der Werkstoffdämpfung allgemein bekannt.

[0006] Die betriebsrelevanten schadigungsinduzierten Änderungen der Dämpfungscharakteristik treten meist lokal auf, welches eine lokale und anisotrope Veränderung der Werkstoffdämpfung verursacht,

[0007] Bei der Verwendung der lokalen Werkstoffdämpfung als diagnostische Eingangsgröße besteht das Hauptproblem in der Bestimmung der Werkstoffdämpfung mit ausreichender Orts- und Richtungsauflösung.

[0008] Herkömmlich ist für die experimentelle Bestimmung nur eine Messmethode der ortsaufgelösten Werkstoffdämpfung bekannt. Diese Methode basiert auf dem Prinzip der Wellenausbreitung. Diese Methode ist weiter als "spatial attenuation" bekannt [Lindsay, R.; 1951; Spatial and Temporal Attenuation and Dispersion of Sound; The Journal of the Acoustical Society of America; 23, 628]. Dabei wird eine laufende harmonische Schwingung in einem langen Probekörper durch einen Aktuator erzeugt. Bei einer definierten Entfernung vom Aktuator wird die Amplitude der laufenden Welle mittels eines entsprechenden Sensors gemessen. Die aus der Werk-

stoffdämpfung resultierende Veränderung der Wellenamplitude wird gespeichert und entsprechend physikalisch gedeutet.

[0009] Nachteilig bei den bekannten Lösungen ist die Erfassung der örtlichen Dämpfung zum einen durch die Veränderung der Sensorposition, wobei die Messprozedur wegen der ständigen Positionswechsel des Sensors sehr zeit- und arbeitsintensiv ist.

[0010] Die Erfassung der örtlichen Dämpfung kann weiter durch die Bestückung des Probekörpers mit mehreren Sensoren erfolgen, wobei die Anzahl der Sensoren den Dämpfungswert des zu messenden Werkstoffs beeinflusst und damit die Messung einem größeren Fehler unterliegt,

[0011] Darüberhinaus kommt es infolge der Bauteilbeanspruchung im Regelbetrieb und besonders bei lokalen Schadensereignissen, zum Beispiel bei Stoßereignissen ohne Totalschaden, zu einer Veränderung der lokalen Werkstoffdämpfung.

[0012] Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren zur Messung lokaler Werkstoffdämpfung so weiter zu bilden, dass eine Bestimmung der lokalen Werkstoffdämpfung ermöglicht werden kann, die mit geringem Zeitaufwand und unter nicht-invasiven Bedingungen nutzbar ist.

[0013] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren entsprechend dem Patentanspruch 1 gelöst.

[0014] Die Unteranspruch 2 bis 7 erläutern vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

[0015] Das Verfahren basiert auf dem Einsatz einer verstimmbaren, quasi stehenden mechanischen Schwingung, die durch eine definierbare Veränderung der Position des Wellenberges, den Anteil der Dämpfung von ausgewählten Werkstoffbereichen verändert.

[0016] Vorteilhaft an dem erfindungsgemäßen Verfahren ist die unkomplizierte, störungsarme und mit geringem Zeitaufwand verbundene Durchführung des Messverfahrens bei gleichzeitiger hoher Orts- und Richtungsabhängigkeit. Dabei sollen die Dämpfungseigenschaften in Bauteilen, insbesondere aus Verbundwerkstoffen eingeschätzt und bestimmt werden. Es muss qualitativ lokalisiert werden, wo und wie viel Dämpfung stattgefunden hat. Des weiteren wird die Größe der Dämpfung analysiert und die zeitliche Veränderung der Dämpfung gemessen. Dadurch kann ein progressives Rißwachstum im Inneren des zu messenden Bauteils festgestellt werden.

[0017] Das Verfahren stellt sicher, dass eine zerstörungsfreie Identifikation der Bauteile erfolgt.

[0018] Voraussetzung für die Energiedissipation und damit für das "Sichtbarmachen" der Dämpfung sind zeitlich veränderliche Verformungen, in Form von Schwingungen beziehungsweise Wellen und die Messung relevanter physikalischer Größen, zum Beispiel die lokale Temperatur, Laufzeiten, Ausbreitungsgeschwindigkeit oder die lokale Schwingungsamplitude.

[0019] Zur Erzeugung von Schwingungen können verschiedene Aktuatoren aus adaptiven Materialien ver-

wendet werden. Insbesondere Piezomaterialien eignen sich gut zur Einbettung in Faserkomposite, das heißt zur Einbettung in Werkstoffe aus verbundenen Materialien.

[0020] Mittels des piezoelektronischen Effektes kann eine mechanische Verformung durch ein elektrisches Feld erzeugt werden. Je nach Ausprägung und Polarisierung können unterschiedliche mechanische Verformungen erzeugt oder detektiert werden.

[0021] Weiterhin vorteilhaft ist die Möglichkeit der Online-Überwachung. Der Körper aus dem zu messenden Werkstoff kann online während seines Einsatzes auf Werkstoffänderungen geprüft werden. Zeitlich aufwändige Stillstände für Inspektionen oder Wartungen können vermindert oder sogar vermieden werden.

[0022] Das erfindungsgemäße Verfahren soll, nachstehend an einigen Ausführungsbeispielen näher erläutert werden;

[0023] Dabei zeigen in:

Fig. 1 den prinzipiellen Funktionsaufbau bei einem eindimensionalen Körper,

Fig. 2 das Dämpfungsprofil für eine gleichmäßige Verteilung der Dämpfung entlang der Strecke zwischen den zwei Aktuatoren,

Fig. 3 den Verlauf des Mittelwertes der aufgezeichneten Signale für das Dämpfungsprofil mit gleichmäßiger Verteilung der Dämpfung entlang der Strecke zwischen den zwei Aktuatoren,

Fig. 4 und das Dämpfungsprofil für eine lokal erhöhte Dämpfung entlang der Strecke zwischen den zwei Aktuatoren,

Fig. 5 den Verlauf des Mittelwertes der aufgezeichneten Signale für das Dämpfungsprofil für eine lokal erhöhte Dämpfung, entlang der Strecke zwischen den zwei Aktuatoren.

Beispiel 1:

[0024] Anhand von Fig. 1 ist ein Körper 1 ersichtlich, der an zwei Positionen Aktuatoren 2, 3 für die Schwingungen 5, 6 aufweist und zwischen diesen Aktuatoren 2, 3 ein Sensor 4 positioniert ist. Beide Aktuatoren 2, 3 senden jeweils eine Schwingung 5, 6 aus, die dabei entstehende, stehende Welle 7 wird vom Sensor 4 gemessen.

Beispiel 2;

[0025] In einem Körper 1 aus in einer Polymermatrix eingebetteten Glasfasern sind zwei positionierte Aktuatoren 2 und 3 und ein Sensor 4 nach Fig. 1 eingebracht, die auf den jeweilig anderen Aktuator eine mechanische

Schwingung 5 und 6 gleicher Amplitude und Wellenlänge aussenden. Durch die Interferenz beider Wellen 5 und 6 entsteht eine stehende Welle 7 im Körper 1.

5 Beispiel 3:

[0026] Ist in dem Körper 1 wie in Beispiel 2 eine Fehlstelle vorhanden, ist ein Schaden an der Leichtbaukomponente ermittelt. So reiben beispielsweise bei Einsatz von Glasfaserwerkstoffen, die geprüft werden sollen, bei Schwingungen gebrochene Glasfasern aneinander, erzeugen damit Wärme und erhöhen die Dämpfung an dieser Fehlstelle. Damit verändert sich der Schwingungsverlauf von 5 und 6 und somit resultieren auch von 7. Die ankommenden Schwingungen werden vom Sensor 3 aufgenommen und verarbeitet.

[0027] Anhand dieser Dämpfung wird die Fehlstelle rechentechisch lokalisiert, indem die dissipierte Energie der stehenden Welle 7 gewichtet wird. Aus dieser Angabe können wiederum eine Abschätzung des Schädigungszustandes und der Ort der Schädigung des Körpers 1 erfolgen.

Beispiel 4:

[0028] Anhand von Fig. 2 wird eine gleichmäßige Verteilung der Dämpfung entlang der Strecke zwischen den Aktuatoren 2 und 3 mit dem Aufbau aus Fig. 1 ersichtlich.

[0029] Zwei Schwingungen 5 und 6 werden von den Aktuatoren 2 und 3 angeregt, die Leichtbaukomponente weist keine Fehlstelle auf, die Dämpfung verläuft gleichmäßig, die aufgenommenen Signale des Sensors 4 werden im Diagramm der Figur 3 dargestellt.

35 Beispiel 5:

[0030] Anhand von Fig. 4 wird eine lokal erhöhte Dämpfung entlang der Strecke zwischen den Aktuatoren 2 und 3 mit dem Aufbau aus Fig. 1 ersichtlich.

[0031] Zwei Schwingungen 5 und 6 werden von den Aktuatoren 2 und 3 angeregt, der Körper weist eine Fehlstelle auf, wodurch die lokale Dämpfung hervorgerufen wird. Die aufgenommenen Signale des Sensors 4 werden im Diagramm der Figur 5 dargestellt.

Beispiel 6:

[0032] In einem Körper 1 aus in einer Polymermatrix eingebetteten Glasfasern sind zwei positionierte Aktuatoren 2 und 3 und ein Sensor 4 nach Fig. 1 eingebracht, die auf den jeweilig anderen Aktuator eine mechanische Schwingung 5 und 6 aussenden. Die Anfangsphase und -amplitude der propagierenden Schwingungen 5 und 6 werden stufenlos verändert, so dass sich die Position des Wellenbauches auf Höhe des Sensors 4 befindet.

Bezugszeichenliste**[0033]**

1	Leichtbaukomponente	5
2	Aktuator	
3	Aktuator	
4	Sensor	10
5	propagierende Schwingung ausgehend vom Aktuator 2	
6	propagierende Schwingung ausgehend vom Aktuator 3	15
7	erzeugte stehende Welle	20

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung lokaler Werkstoffdämpfung, die insbesondere bei der Inspektion, Wartung oder Instandhaltung von Leichtbaukomponenten die Werkstoffe mit hohen mechanische Anforderungen aufweisen wie der Außenhaut von Flugkörpern, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine Schwingung (5 oder 6) in einer Leichtbaukomponente (1) erzeugt, gemessen und eine Dämpfung im zu prüfenden Werkstoff mit Orts- und Richtungsauflösung bestimmt wird. 25
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei Schwingungen (5, 6) in einem Körper (1) erzeugt, gemessen und die Dämpfung im zu prüfenden Werkstoff der Leichtbaukomponente (1) mit Orts- und Richtungsauflösung bestimmt wird. 30
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Werkstoff der Leichtbaukomponente (1) ein Kunststoffmaterial verwendet wird. 35
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Kunststoffmaterial ein kohlenstofffaserverstärktes Kunststoffmaterial oder glasfaserverstärktes Kunststoffmaterial verwendet wird. 40
5. Verfahren nach Anspruch 1 und wenigstens einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine Schwingung (5 oder 6) von einem Sensor (4) in oder an der Leichtbaukomponente (1) gemessen wird und die mindestens eine erzeugte Schwingung (5 oder 6) so modifiziert wird, dass eine stehende Welle (7) entsteht, die der Sensor (4) misst. 45
6. Verfahren nach Anspruch 1 und wenigstens einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine rechentechnische Einrichtung einen Messwert des Sensors (4) auswertet und den Ort, die Richtung und/oder die Intensität einer Schädigung des zu prüfenden Werkstoffes in oder an der Leichtbaukomponente (1) errechnet. 50
7. Verfahren nach Anspruch 1 und wenigstens einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Sensor (4) örtlich zwischen Aktuatoren (2, 3) wirkt. 55

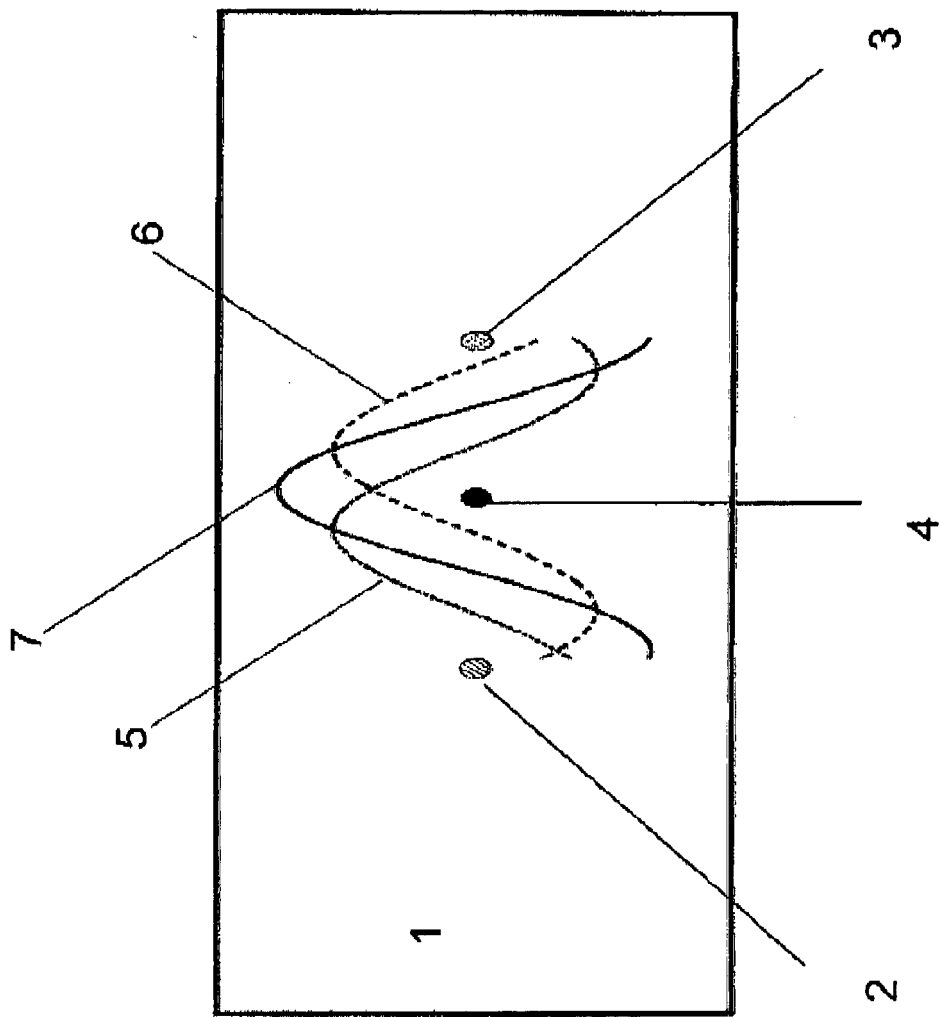


Fig. 1

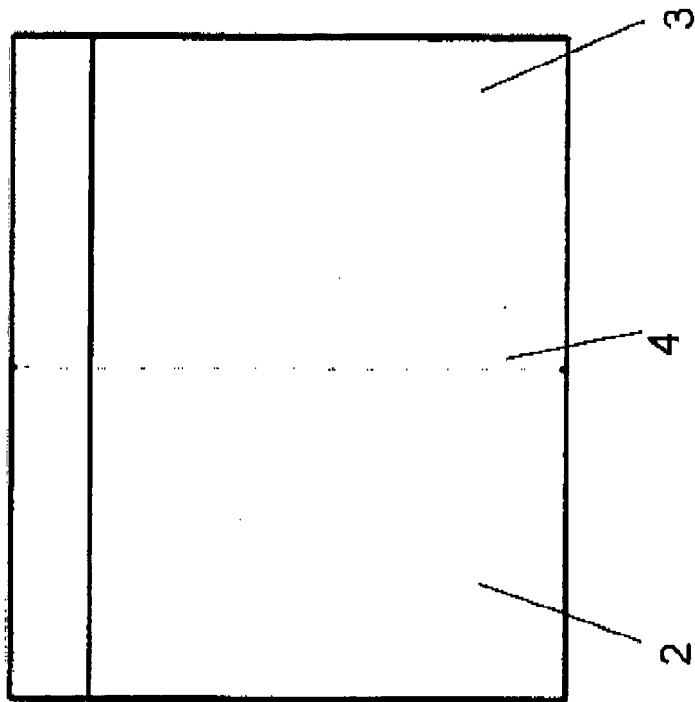


Fig. 2

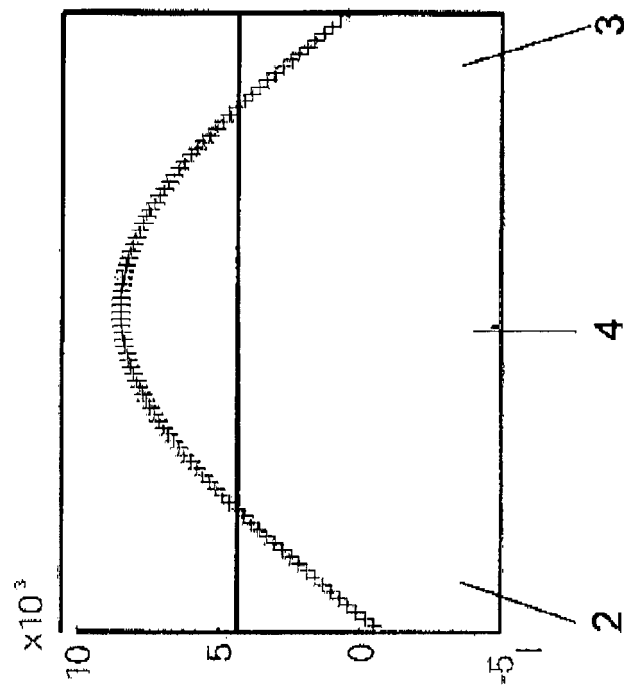


Fig. 3

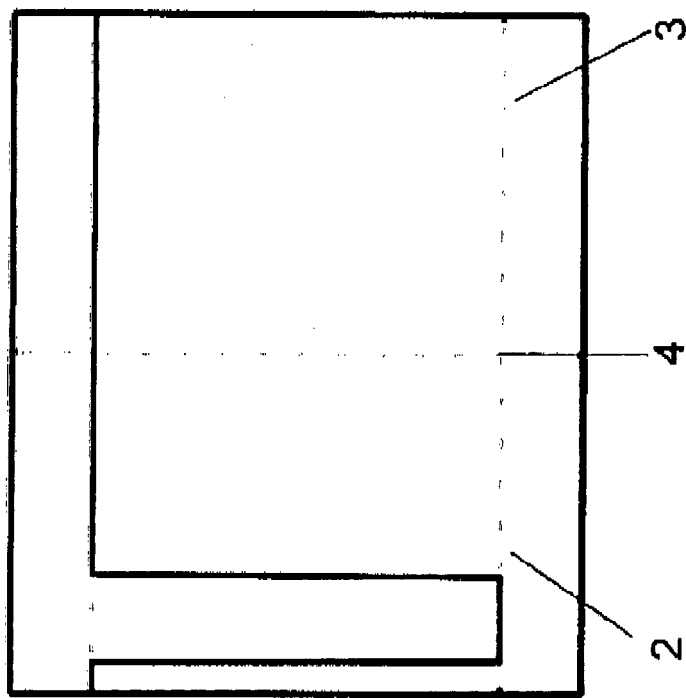


Fig. 4

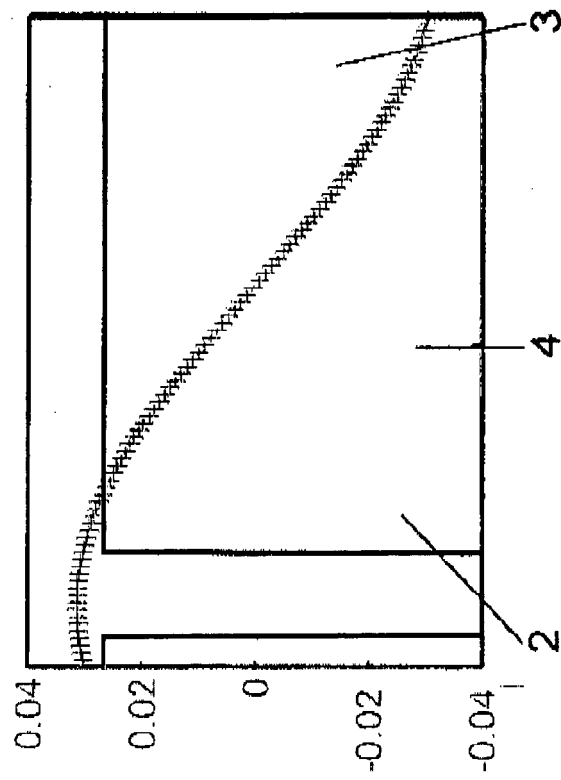


Fig. 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **LINDSAY, R.** Spatial and Temporal Attenuation and Dispersion of Sound. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1951, vol. 23, 628 **[0008]**